

综合地球物理方法在金属矿产勘查中的应用

王家俊^{1,2}, 杨炳南^{1,2,3}

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局一〇三地质大队, 贵州 铜仁 554300;

2. 贵州省地质物探开发应用工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550081;

3. 中国地质大学 地球物理与空间信息学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 旨在通过采用音频大地电磁、可控源音频大地电磁和时间域激电测深三种地球物理探测方法, 对黔西南某金矿进行联合探测研究, 对比不同方法在该区域的探测效果, 探讨上述物探方法在该区域的适用性。实测结果表明: 音频大地电磁法对地层、构造的空间分布特征反应均较为明显, 探测深度达 2.0 km; 可控源音频大地电磁法较音频大地电磁法抗干扰能力强, 但探测深度受到限制, 约为 1.0 km; 时间域激电测深法对矿体激电效应反映较好, 矿体与围岩充电率差异明显。通过大地电磁法和激电测深法的有效结合, 可达到圈定重点靶区的目的。

关键词: 综合地球物理; 矿产勘查; 黔西南

中图分类号: P631

文献标识码: A

收稿日期: 2017—04—27

Application of the Integrated Geophysical Method to Exploration of Metallic Mineral

Wang Jiajun^{1,2}, Yang Bingnan^{1,2,3}

(1. No. 103 Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of
Guizhou Province, Tongren Guizhou 554300, China;

2. Engineering Technology Research Center of Geology and Geophysics Development and
Application of Guizhou Province, Guiyang Guizhou 550081, China;

3. Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074,
China)

Abstract: In this paper, it will do a detection research on a gold mine in southwestern Guizhou through the use of geophysical detection methods including AMT, CSAMT and TDIP, and then compare the detection effects of different methods to explore the applicability of geophysical method in this area. The measurement shows that: AMT has obvious response to the spatial distribution characteristics of strata and structures, with a detection depth of 2.0 km; CSAMT is more jamproof than AMT, but the detection depth is limited, about 1.0 km; TDIP reflects well the IP effect of the ore body and the charging rate of ore body and surrounding rock is obviously different. Through the effective combination of the magnetotelluric method and the IP sounding meth-

基金项目: 中国地质调查局地调项目(编号: 12120113094400)

第一作者: 王家俊(1984—), 男, 壮族, 工程师, 主要从事地球物理勘查与应用工作。E-mail: 415509792@qq.com

od, it can delineate the key prospecting targets.

Key words: integrated geophysics; mineral exploration; southwestern Guizhou

1 引言

黔西南地区大地构造位置处于扬子准地台与华南褶皱系 2 个 I 级构造单元的交汇部位, 大部分地区属华南褶皱系右江褶皱带。大致以云南个旧—贵州普定—广西宾阳 3 点连线的三角形区域, 由区域性北东向弥勒—师宗深断裂、东西向个旧—宾阳深断裂、北西向南丹—昆仑关深断裂围限的三角形夹块, 构成了滇黔桂“金三角”^[1]。黔西南金矿属燕山期 Au—Sb—Hg—Tl—U—Mo—As—萤石成矿系列。扬子陆块内该系列的各种矿床(点)都分布在玄武岩边缘和外缘, 且以外缘为主, 所在区域属被动大陆边缘沉积盆地。右江造山带内, 以金为主的各种矿床(点), 主要分布在与碰撞作用有关的周缘前陆沉积盆地内^[2,3]。

贵州省地矿局在该地区已经做了关于金矿的大量勘查工作, 取得了一定的成果, 但对深部矿产

资源的勘查仍欠缺有效手段。本文以黔西南某金矿为例, 在前期地质整装勘查工作的基础上, 以区内岩石物性特征为依据, 于找矿重点区域布置了一条地球物理勘探剖面, 采用 V8 多功能电法勘探系统进行音频大地电磁法、可控源音频大地电磁法和时间域激电测深法联合探测研究, 探索上述方法对深部地层、隐伏构造及矿化蚀变体的响应特征, 分析不同方法在该区域的有效探测深度, 对其综合探测效果进行分析、评价。

2 研究区地质概况与岩(矿)石物性特征

2.1 地质概况

研究区出露的地层主要为二叠系中统茅口组、上统龙潭组, 三叠系下统永宁镇组、飞仙关组, 三叠系中统关岭组及第四系(图 1), 现由老至新简述如下:

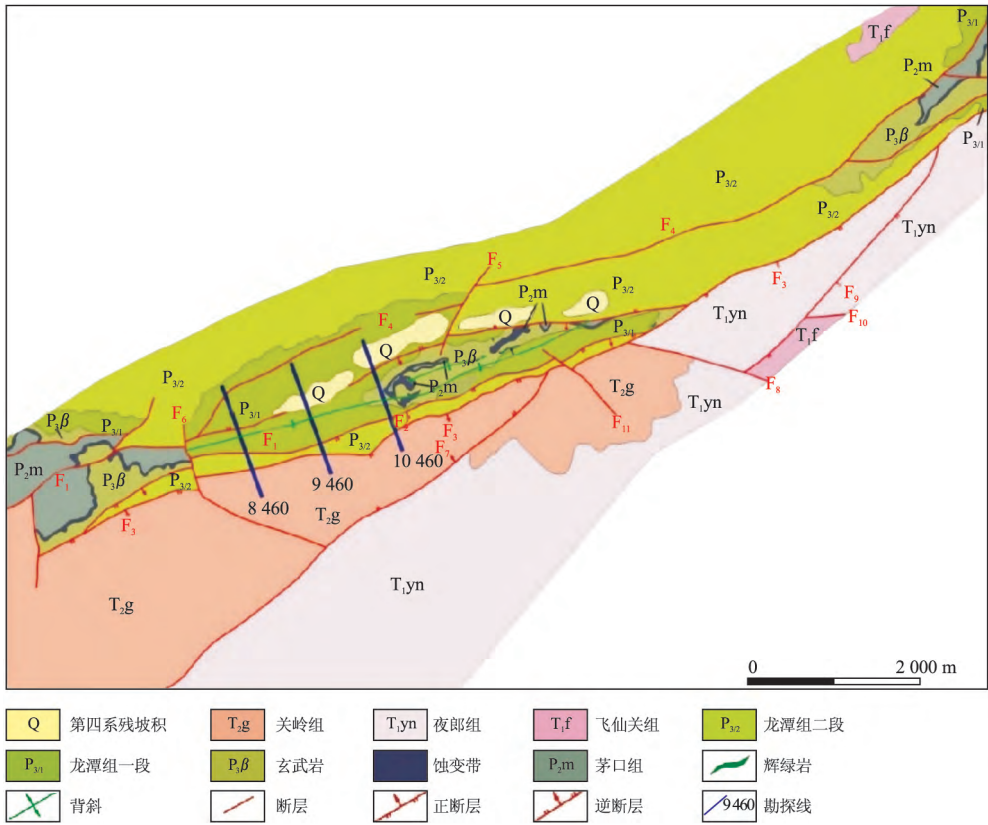


图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Geological map of the study area

茅口组(P_2m)为灰、灰白色厚层状灰岩为主,厚度 >100 m;龙潭组(P_3l)为灰、深灰、灰黑色薄至中厚层状黏土岩、炭质黏土岩、粉砂岩、砂岩为主,厚度 $129\sim 385$ m;飞仙关组(T_1f)为紫红、灰绿色薄层泥质粉砂岩夹紫红色泥岩,厚度 >50 m;永宁镇组(T_1yn)为浅灰、灰色中至厚层状白云岩与灰岩、泥质灰岩不等厚互层,厚度 >135 m;关岭组(T_2g)为灰色中厚层状灰岩、白云质灰岩夹泥岩、砂质泥岩等,厚度 >500 m。

研究区主要褶皱构造为二龙抢宝背斜,是区内的主要控矿、容矿构造。轴线呈北东东向展布,西端在石门坎倾伏,东端被 F_1 断层切割破坏止于大坝以北,区内延伸长约 5.00 km,核部最老地层为茅口组。北西翼出露茅口组、龙潭组,地层倾角较陡,一般在 $25\sim 45^\circ$ 之间,局部倒转;南东翼依次出露龙潭组、永宁镇组、关岭组,倾向 $130\sim 170^\circ$,倾角一般在 $5\sim 28^\circ$ 之间。与之伴生的还有一系列次级

褶皱。

研究区断裂构造较发育,主要发育有 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 等,该组断裂大至平行展布,基本与地层、金矿化带走向及背斜轴向一致,区内延伸长度约 $1\sim 10$ km。 F_1 逆冲断层,于二龙抢宝北部横跨整个矿区,区内延伸长约 5.50 km,走向为北东向,倾向南东,倾角 $38\sim 42^\circ$; F_2 正断层,分布于研究区中部,区内延伸约 3.50 km,走向北东东,倾向南南东,倾角 $68\sim 70^\circ$; F_3 正断层,区内延伸长约 9.10 km,走向北东东,与 F_2 平行,倾向南南东,倾角 $70\sim 75^\circ$; F_4 逆断层:区内延伸长约 4.70 km,走向北东东,倾向南南东,倾角 $70\sim 85^\circ$,为一高角度逆冲断层,断距 $40\sim 100$ m。

2.2 岩(矿)石物性特征

采用标本测量法以钻孔岩芯为标本实测了150个物性点,包括白云岩、灰岩、粉砂岩、黏土岩及矿化蚀变体等不同岩矿石的电阻率和极化率物性特征(表1)。

表1 岩(矿)石物性特征统计

Tab.1 Geophysical characteristics of rocks and ores

岩性名称	地层代号	样点数/块	电阻率/ $\Omega \cdot m$		极化率/%	
			变化范围	平均值	变化范围	平均值
白云岩	T_2g	30	$1\ 007\sim 2\ 658$	1 732	$2.55\sim 2.77$	2.68
灰岩	P_2m	30	$1\ 231\sim 3\ 265$	2 357	$1.47\sim 3.15$	2.51
粉砂岩	P_3l	30	$925\sim 1\ 559$	1 263	$2.39\sim 2.81$	2.63
黏土岩	P_3l	30	$356\sim 829$	579	$2.21\sim 2.68$	2.32
蚀变体	Sbt	30	$546\sim 1\ 539$	1 135	$3.61\sim 14.25$	7.15

黏土岩电阻率值最低,其平均值低于 $600\ \Omega \cdot m$;灰岩电阻率最高,其平均值达 $2\ 357\ \Omega \cdot m$;白云岩电阻率仅次于灰岩,其平均值为 $1\ 732\ \Omega \cdot m$;其次为粉砂岩,其电阻率为 $1\ 263\ \Omega \cdot m$;蚀变体电阻率比粉砂岩稍小,平均值 $1\ 135\ \Omega \cdot m$ 。极化率方面,白云岩、灰岩、粉砂岩、黏土岩极化率平均值相近,都小于 3% ,而蚀变体则显示出较高的极化率,其平均值达到 7.15% 。因此,矿化蚀变体在电阻率和极化率两方面与围岩(以黏土岩为主)都有一定差异,极化率的差异尤为明显,其综合电性特征表现为“相对低阻—高极化”,具备了较好的电法勘探前提。

3 综合物探测试方法

本次研究共开展了音频大地电磁法(AMT)、

可控源音频大地电磁法(CSAMT)和时间域激电测深(TDIP)三种不同的物探试验,以进一步了解上述地球物理方法对深部构造、控矿地质体位置、产状和规模的响应关系,研究该地球物理找矿方法在本矿区的找矿适用性。

3.1 音频大地电磁法

音频大地电磁法(AMT)基本原理是以天然大地电磁场为场源,观测互相垂直的两个方向上若干频率的电场水平分量 E_x 、 E_y 和磁场水平分量 H_x 、 H_y ,然后利用相互垂直的电场振幅和磁场振幅计算阻抗电阻率 ρ_s ;观测电场相位 E_p 和磁场 H_p ,用以计算阻抗相位 φ ;用阻抗电阻率和阻抗相位联合反演计算电阻率参数,最后利用反演的电阻率进行地质推断解释。频率范围是 $1\sim 10\ 000$ Hz,探测深度一般在 $2\ 000$ m之内^[4,5]。

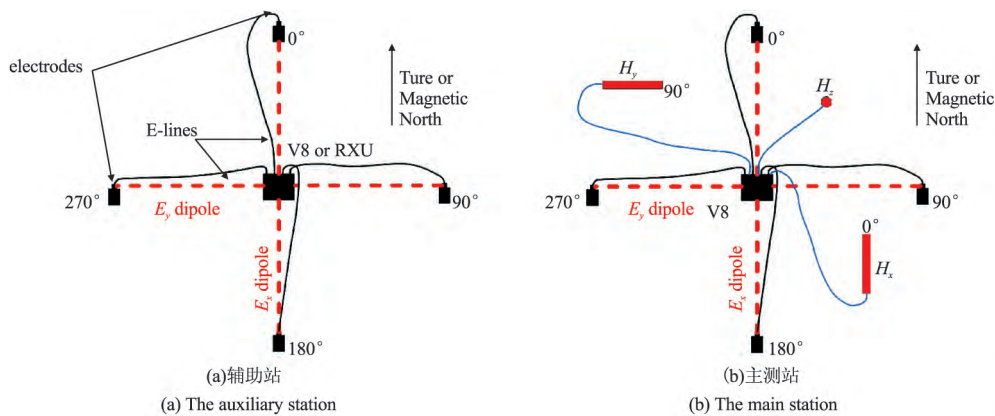


图 2 AMT 测量装置示意图

Fig. 2 Diagram of AMT measuring device

装置的布设如图 2 所示。

本次 AMT 共布置了 1 条剖面, 剖面长度 3.30 km, 点距 100~300 m, 方向 160°, 共计 15 个测点。

3.1 可控源音频大地电磁法

可控源音频大地电磁法(CSAMT)是在大地电磁法(MT)和音频大地电磁法(AMT)的基础上发展起来的一种人工源频率域测深方法。由于电磁场在空间的分布和传播均遵循 Maxwell(麦克斯韦)方程组, 因此电法勘探的理论基础就是 Maxwell 方程组为核心的电磁场理论, 而研究地面电磁场与地下岩石的电阻率的关系成为研究大地电磁测深理论的关键^[5]。装置的布设如图 3 所示。

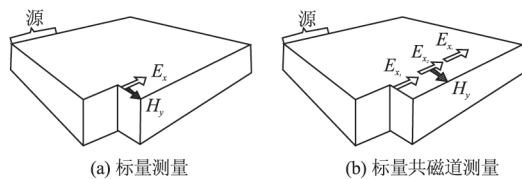


图 3 CSAMT 标量测量装置示意图

Fig. 3 Diagram of CSAMT scalar measuring device

本次 CSAMT 共布置了 1 条剖面, 与 AMT 剖面后半段重合, 剖面长度 2.25 km, 点距 50 m, 共计 46 个测点。

3.2 时间域激电测深法

致密块状的金属矿、浸染状硫化矿或矿化带中所含金属矿物的颗粒在外加电场的激励作用下会被极化, 并在其周围空间形成二次场, 通过对二次场的观测, 从而把金属硫化物矿化带或矿化富集带圈出来, 称之为激发极化法, 深度的测量是通过改变收发距而达到的, 这就是时间域激电测深法(TDIP)的工作原理^[7]。TDIP 可以提供岩石的视电阻率和视充电率两种信息。在激电测量中, 影响地下矿化岩石或矿石充电率的因素很多, 但主要因素是岩石或矿石中电子导电矿物的含量、岩(矿)石的结构、构造, 在其他条件相同时, 岩石或矿石的充电率随电子导电矿物的体积百分含量增高而变大。

本次 TDIP 共布置 1 条剖面, 与 CSAMT 剖面重合。工作装置采用的是 D-D(偶极-偶极)装置, 接收电极 MN 为 50 m, 供电电极以 50 m 移动。装置的布设如图 4 所示。

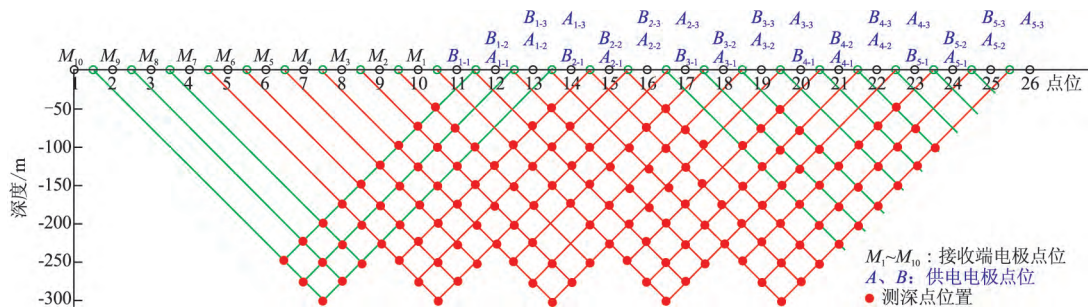


图 4 TDIP 偶极-偶极测量装置示意图

Fig. 4 Diagram of TDIP dipole-dipole measuring device

4 应用效果分析

4.1 对已知矿体响应结果分析

如图5所示,为三种方法同点位测深效果对比图。从图上分析,地表的不整合面矿化带在三

种物探方法中均表现出了相对高阻异常特性,尤其在CSAMT和TDIP这两种人工场源的剖面上反映更为清晰;而在断层(F_1)含矿带处,视电阻率则主要表现为相对低值异常,这种情况推测与断层较为破碎、含水有关。

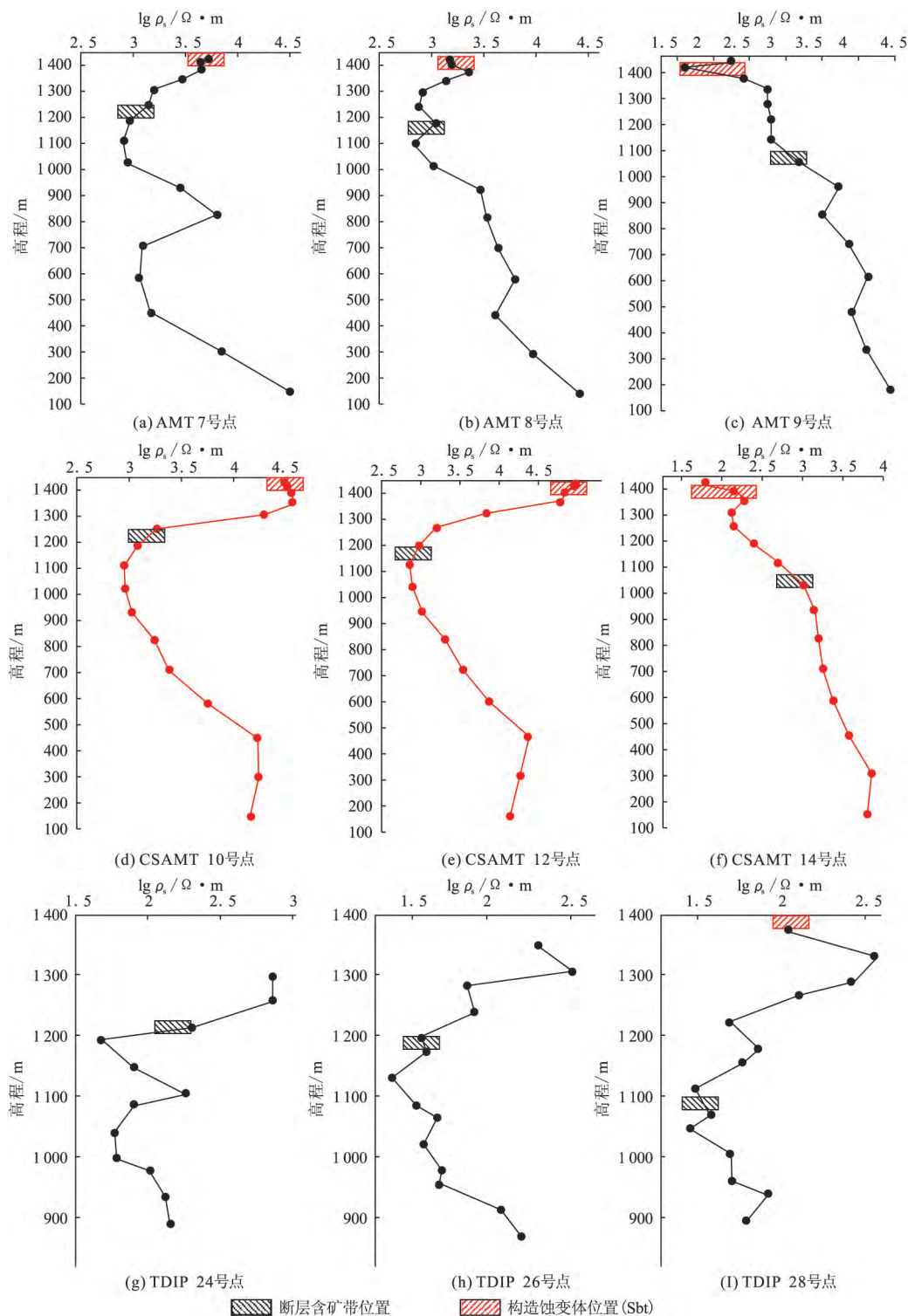


图5 AMT、CSAMT 和 TDIP 同点位探测效果对比

Fig. 5 Comparative map of AMT, CSAMT, TDIP detecting effects at the same sites

4.2 探测深度分析

从图 5 可以看到, TDIP 的数据点更为密集, 反应更为具体, 但是探测深度比较有限, 因为其对深度的控制主要通过电极收发距来实现, 而 AMT 和 CSAMT 则通过勘探的频率来控制。

在 CSAMT 剖面上, 高程 500 m 往下的电阻率均出现逆势情况, 与该深度灰岩电性不符, 这跟 CSAMT 的有效探测深度有关。因为 CSAMT 是人工场源, 不可能满足 AMT 的假设, 因此按照卡

尼亚电阻率计算公式计算出来的视电阻率在低频段往往会有较严重的近场效应, 即低频段进入“近场区”后卡尼亚视电阻率被严重畸变, 因此应尽量避免数据进入“近场区”。“近场区”表现为卡尼亚视电阻率曲线在双对数坐标中呈 45° 上升(图 6)。近场区的存在使得 CSAMT 的有效探测深度比 AMT 要小得多, 通常 AMT 可以探测到 2 000 m 左右的深度, 而 CSAMT 通常只能达到 1 000 m 左右的深度。

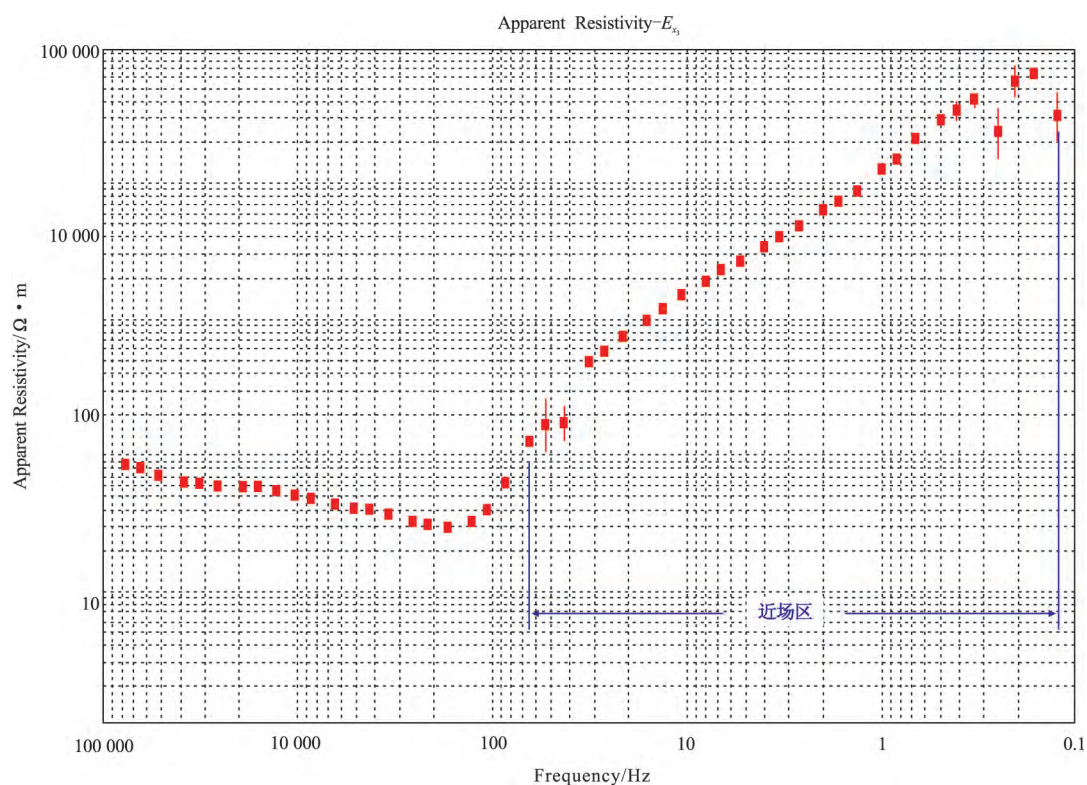


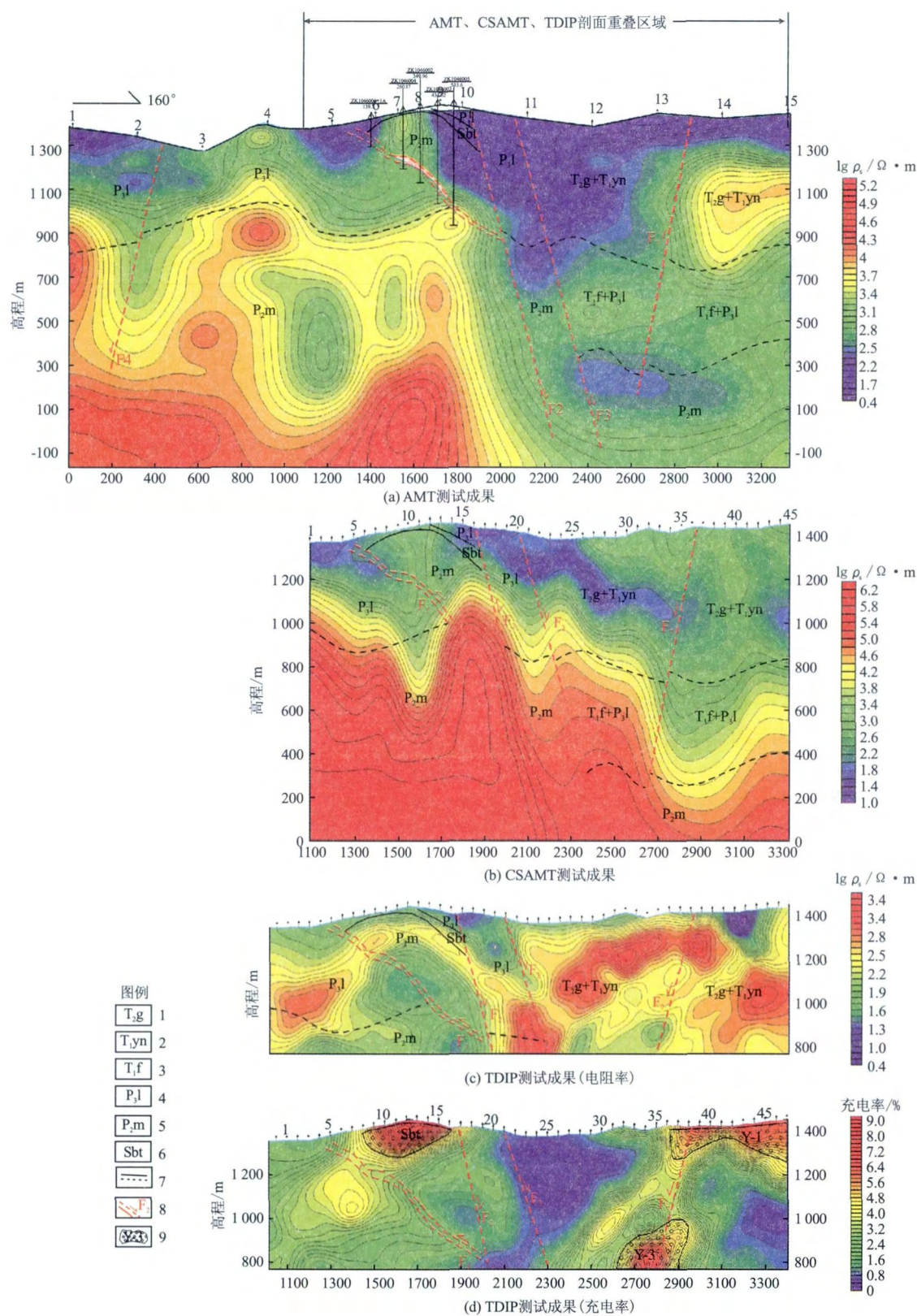
图 6 CSAMT 观测数据“近场区”示意图

Fig. 6 Diagram of CSAMT data in the near-field region

4.3 剖面探测效果综合分析

图 7 为测试剖面 AMT、CSAMT 和 TDIP 三种方法探测成果对比图, 从图上分析, AMT、CSAMT 方法对不整合地层界面和地下构造的分布特征反映, 比较清晰, 从对断裂构造 F_3 的反映看, CSAMT 比 AMT 反映更为明显, 且推

测了 F_7 断裂异常, AMT 剖面图上无 F_7 异常反映, 推测与点距过大 (300 m) 有一定关系。TDIP 方法对构造的反映不是很明显, 其作用主要体现在对低阻—高极化异常区的识别上, 从图上可以看出, 所探测区域低阻和高极化特征吻合较好。



1-三叠系中统关岭组;2-三叠系下统永宁镇组;3-三叠系下统飞仙关组;4-二叠系上统龙潭组;5-二叠系中统茅口组;6-构造蚀变体;
7-实测和推测地层界线;8-推测断层及编号;9-推测激电异常区及编号

图 7 剖面综合探测成果对比

Fig. 7 Comparative map of integrated detection results on the sounding profile

5 结 论

本文基于已有地质资料和物探剖面测试研究工作,通过开展音频大地电磁法(AMT)、可控源音频大地电磁法(CSAMT)和时间域激电测深法(TDIP)对测区进行联合探测,结合地质、钻孔资料对上述物探方法在该区域的应用效果进行综合分析、评价,取得了较好的效果。通过本次研究取得的主要成果及认识如下:

1)AMT 对地层、构造的反应均较为明显,探测深度达 2.0 km,是较适合在该区域进行的物探找矿方法,具体意义体现在:结合已有地质资料,通过在矿区内开展大范围的 AMT 剖面测深工作,能够基本查明测区内的构造空间分布特征,同时在构造发育较小区域圈定茅口组与龙潭组地层界线,分析层控型蚀变体的存在的可能性。

2)CSAMT 比 AMT 抗干扰能力强,由于“近场区”因素导致探测深度受到限制,其在该区域的探测深度约为 1.0 km,具有一定的局限性;TDIP 对矿体激电效应表现较好,矿体与围岩充电率差异反映明显。适合在大地电磁测深成果的基础上对埋深相对较浅(小于 600 m)的物探异常区进行进一步验证。

3)音频大地电磁法、可控源音频大地电磁法和时间域激电测深联合探测的方法,有效地体现了地层构造—矿化异常的间接找矿模式。通过大地电磁法和激电测深法的有效结合,可实现多参

数多约束反演以降低单一物探方法的多解性,达到圈定重点靶区的目的。

4)通过在该区域开展综合地球物理方法测试工作,能够基本查明测区深部的隐伏构造、圈定重点矿致异常区等,解决常规地质手段难以解决的问题。

参考文献:

- [1] 刘建中,夏勇,张兴春,等. 层控卡林型金矿床矿床模型——贵州水银洞超大型金矿[J]. 黄金科学与技术, 2008, 16(3): 1-5.
- [2] 郑禄林,杨瑞东,刘建中,等. 黔西南泥堡金矿床大型隐伏金矿体地质特征研究[J]. 地质与勘探, 2014, 50(4): 689-699.
- [3] 邱小平,孟凡强,于波. 黔西南灰家堡金矿田成矿构造特征研究[J]. 矿床地质, 2013, 32(4): 783-793.
- [4] 石应骏,刘国栋,吴广耀,等. 大地电磁测深法教程[M]. 北京:地震出版社, 1985.
- [5] 陈乐寿. 大地电磁测深资料处理与解释[M]. 北京:石油工业出版社, 1989.
- [6] 石昆法. 可控源音频大地电磁法理论与应用[M]. 北京:科学出版社, 1999.
- [7] 李金铭. 激发极化法方法技术指南[M]. 北京:地质出版社, 2004.
- [8] 屈利军,李波,胡绪云. 综合电法在南岭魏家钨矿深部勘查中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2015, 12(2): 183-189.
- [9] 刘永峰,闫维华,游连强. 物探方法在贵州东部某铅锌矿区勘查中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2016, 13(3): 367-373.